2. FLUJO A PRESIÓN

2.1 Flujo uniforme, permanente y laminar

2.1.1 Ecuación de continuidad

$$Q = VA$$

2.1.2 Ecuación del esfuerzo cortante

$$\tau = \gamma R I$$

2.1.3 Ecuación de velocidad media

$$V = \frac{gID^2}{32\nu}$$

$$I = h_f / L$$

2.1.4 Pérdida de carga por fricción

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$ Ecuación de Hagen - Poiseuille

Q = caudal
V = velocidad media del flujo
A = área mojada
g = aceleración debida a la fuerza de la gravedad
I = gradiente hidráulico
D = diámetro
h_f = pérdidas de energía por fricción
f = coeficientes de rugosidad de Darcy-Weisbach. Ver Figura 2.1
L = longitud real de la conducción
R = radio hidráulico
R_e = número de Reynolds
υ = viscosidad cinemática. Ver Tabla 1.2
γ = peso específico. Ver Tabla 1.2
τ = esfuerzo cortante

2.2 Flujo uniforme, permanente y turbulento

2.2.1 Ecuación de continuidad

$$Q = VA$$

2.2.2 Ecuación general de velocidad según CHEZY

$$V = C\sqrt{RS_f} \;;\; R = A/P$$

$$S_f = h_f/L$$

Tabla 2.1 Coeficientes de velocidad (*C*)

Ecuación	C (m$^{1/2}$/s)	
Logarítmica	$C = 18\log\left(\frac{6.7R}{a}\right)$	$a = \varepsilon/2$ Conducto Hidráulicamente Rugoso (CHR) $a = \delta o/7$ Conducto Hidráulicamente Liso (CHL) $a = \varepsilon/2 + \delta o/7$ transición entre liso y rugoso
Darcy Weisbach	$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$	Coeficiente de fricción: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{\varepsilon/D}{3.71}\right)$ Colebrook-White
Manning	$C = \frac{1}{n}R^{1/6}$	$n = f$(rugosidad, profundidad del agua, sinuosidad del cauce).

$$\delta o = \frac{11.6\nu}{V_*} \;,\; V_* = \sqrt{gRS_f}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{4RV}{\upsilon} \;,$$

Para tubería circular completamente llena: $\mathrm{Re} = \frac{VD}{\upsilon}$

ε = rugosidad absoluta (Ver Tabla 2.2).
δo = espesor de la sub-capa laminar viscosa
V_* = velocidad cortante
R = radio hidráulico. $R = D/4$ para tubería circular completamente llena

2.2.3 Ecuación empírica de Hazen y Williams

$$V = 0.355 C_{HW} D^{0.63} I^{0.54} \qquad \text{[m/s]}$$

$$S_f = 10.62\left(\frac{Q}{C_{HW} D^{2.63}}\right)^{1.85} \qquad \text{[m/m]}$$

C_{HW} = Coeficiente de velocidad (Valor experimental. Ver Tabla 2.3)

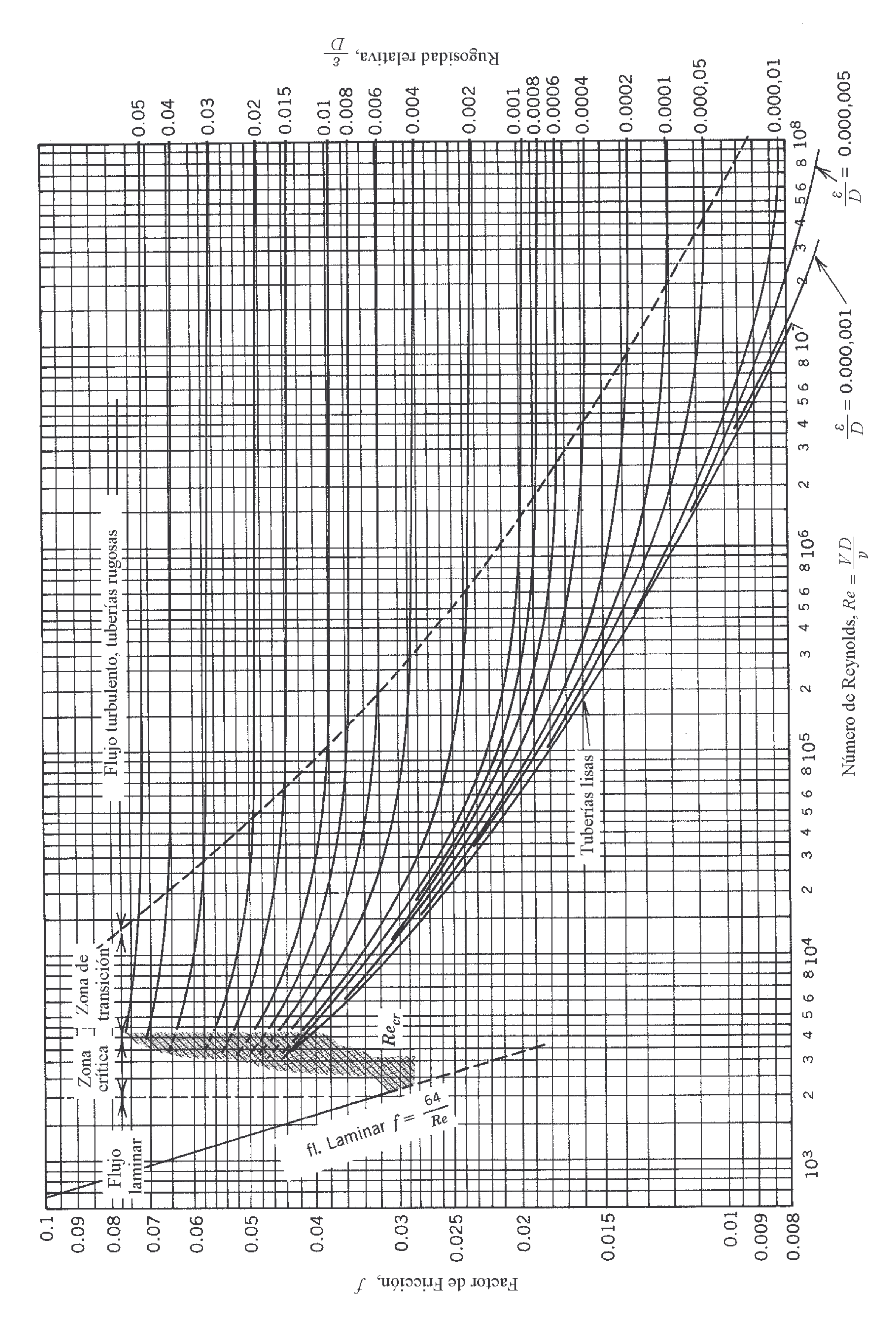


Figura 2.1 Diagrama de Moody

Tabla 2.2. Coeficientes de rugosidad absoluta ε. (Ahmed N., 1987).

Material	Rugosidad absoluta ε (mm)
Concreto centrifugado nuevo**	0.16
Concreto centrifugado con protección bituminosa**	0.0015 a 0.125
Concreto de acabado liso**	0.025
Concreto alisado interiormente con cemento**	0.25
Concreto con acabado rugoso**	10.00
Acero bridado	0.91 a 9.10
Tubería de acero soldada	0.046
Acero comercial o hierro dulce	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.120
Hierro fundido	0.260
Hierro fundido oxidado**	1.0 a 1.5
Hierro galvanizado	0.15
Madera cepillada	0.18 a 0.90
Arcilla vitrificada*	0.15
Asbesto cemento nuevo**	0.025
Asbesto cemento con protección interior de asfalto**	0.0015
Vidrio, cobre, latón, madera bien cepillada, acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura, tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule. **	0.0015

* Tomado de Saldarriaga J., 1998. ** Tomado de Sotelo A., G., 1982.

Tabla 2.3 Coeficiente de velocidad C_{HW} para la ecuación de Hazen-Williams. (Sotelo A., G. 1982).

Material	C_{HW}
Acero corrugado	60
Acero con juntas lock-bar (nuevo)	135
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado (nuevo)	110
Acero remachado (usado)	85
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	120
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	90
Hierro soldado, con revestimiento especial (nuevo y usado)	130
Hierro fundido limpio (nuevo)	130
Hierro fundido sin incrustaciones (usado)	110
Hierro fundido con incrustaciones (viejo)	90
Plástico (PVC)	150
Asbesto cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Conductos con acabado interior de cemento pulido	100
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Tubos de barro vitrificado (drenes)	110
Madera cepillada o en duelas	120

2.3 Pérdidas locales en conductos a presión

- **Método del coeficiente de resistencia:** $h_l = K\frac{V^2}{2g}$

- **Método de longitud equivalente:** $h_l = S_f L_e$

- **Longitud equivalente:** $L_e = \frac{KD}{f}$

2.3.1 Coeficientes de pérdidas locales (*K*)

2.3.1.1 Coeficiente de pérdidas por entrada a la tubería

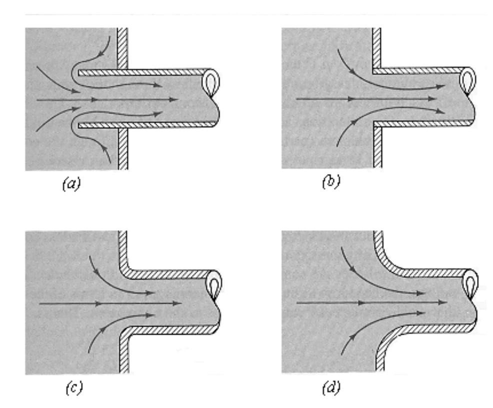
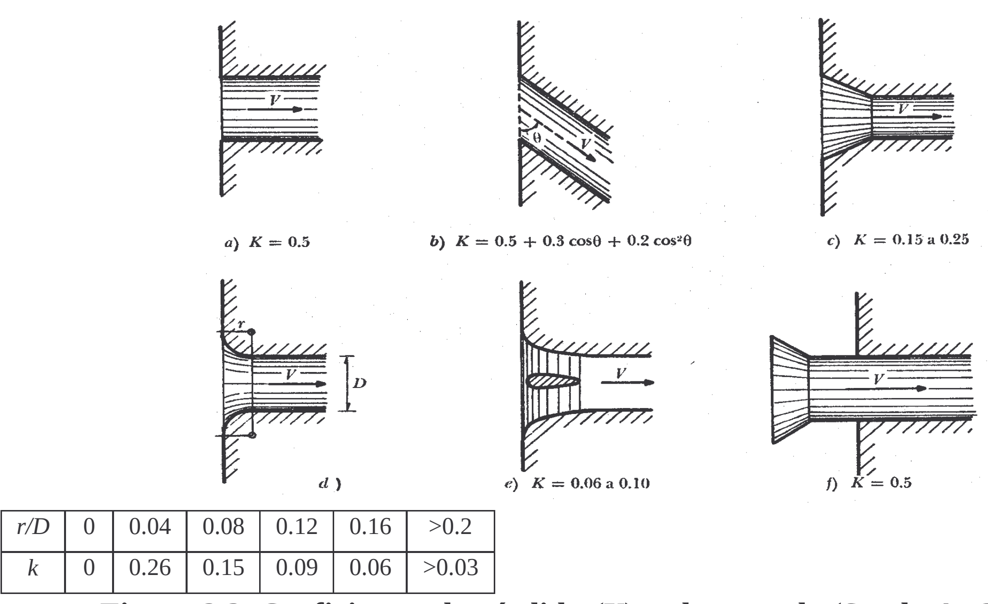
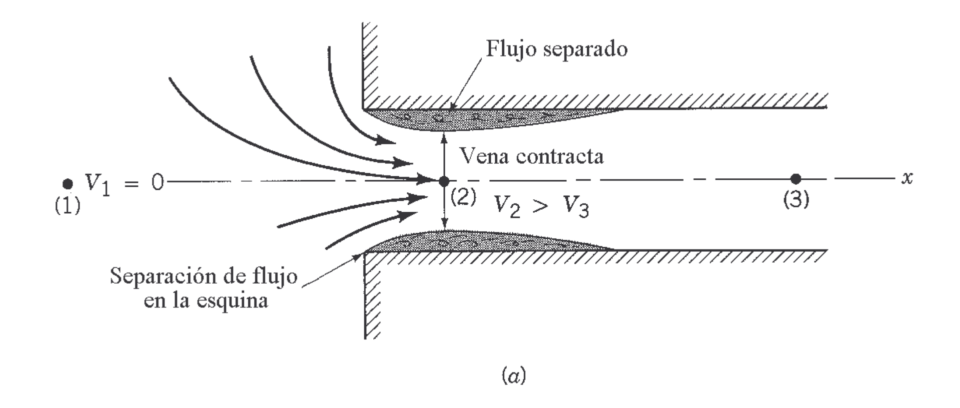


Figura 2.2 Coeficientes de pérdida. (a) Entrada de borda *K*=0.8, (b) Entrada normal *K*=0.5, (c) Entrada ligeramente redondeada *K*=0.20, (d) Entrada bien redondeada *K*= 0.04 (Munson B. R. et al., 1994).



r/D	0	0.04	0.08	0.12	0.16	>0.2
k	0	0.26	0.15	0.09	0.06	>0.03

Figura 2.3 Coeficientes de pérdida *(K)* en la entrada (Sotelo A. G., 1982)



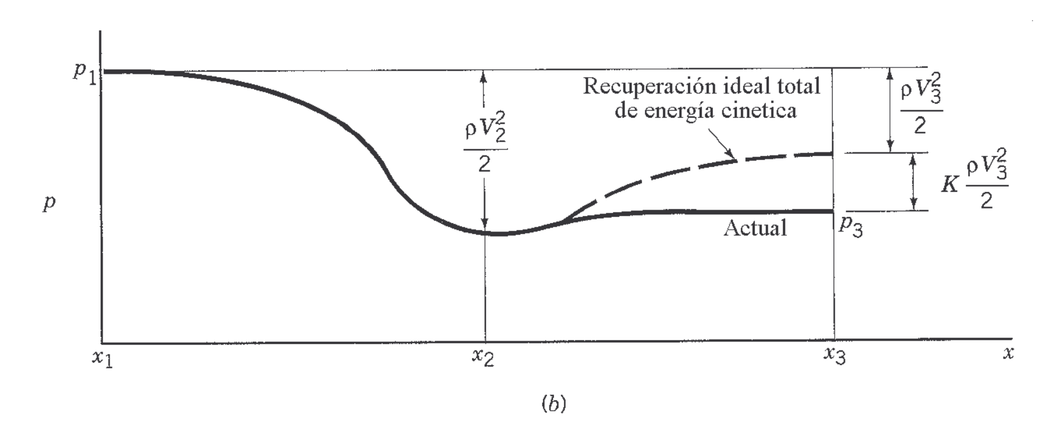


Figura 2.4 Patrón de flujo y distribución de presiones para entrada normal (Munson B. R. et al., 1994)

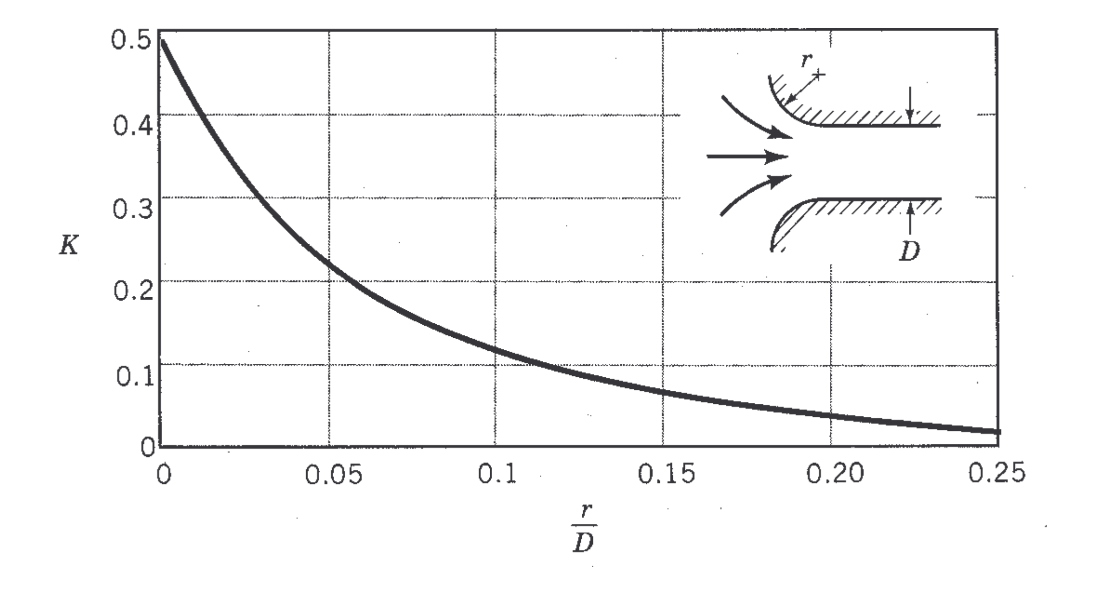


Figura 2.5 Coeficiente de pérdida *(K)* en entrada en función del radio de curvatura (Munson, B. R. et al., 1994)

2.3.1.2 Coeficiente de pérdidas por salida de la tubería

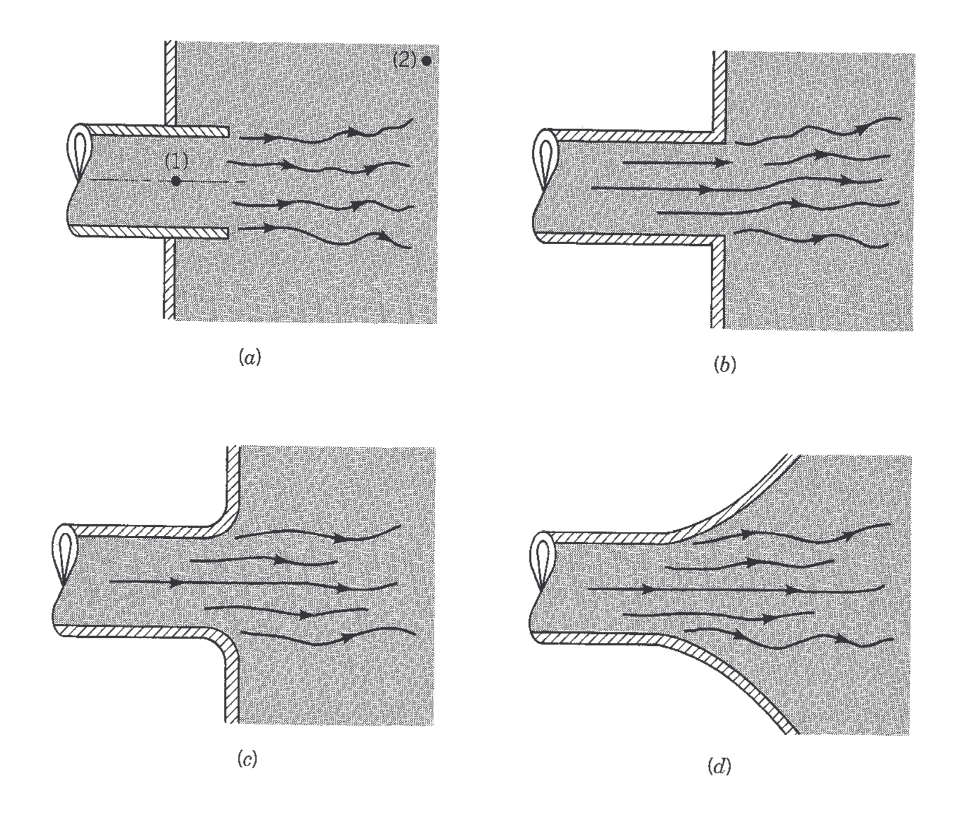


Figura 2.6 Coeficientes de pérdida. (a) Salida de borda *K*=1, (b) Salida normal *K*=1, (c) Salida ligeramente redondeada *K*=1, (d) Salida bien redondeada *K*=1 (Munson B. R. et al., 1994)

2.3.1.3 Coeficiente de pérdidas por cambio en la geometría del conducto

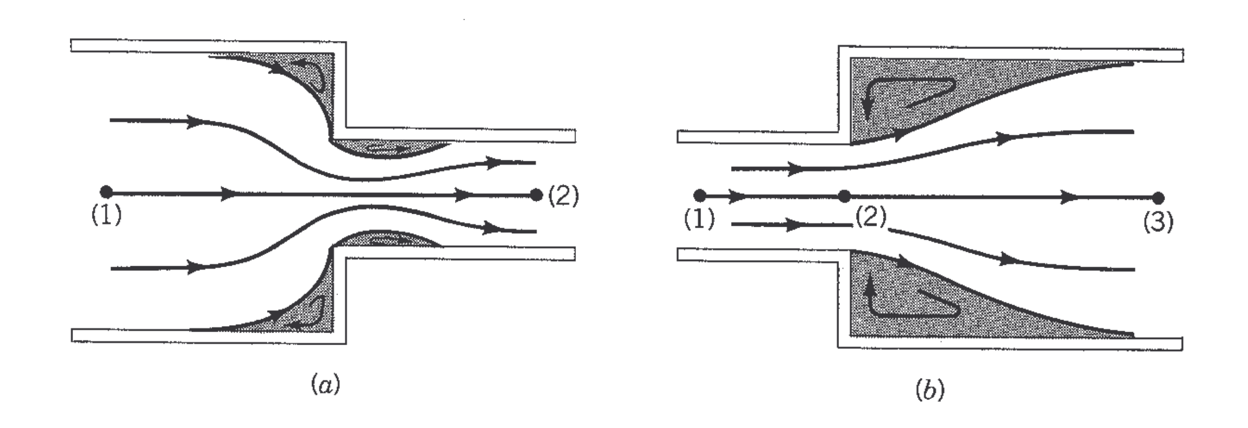


Figura 2.7 Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro.
(a) Contracción, (b) Expansión.
(Munson B. R. et al., 1994)

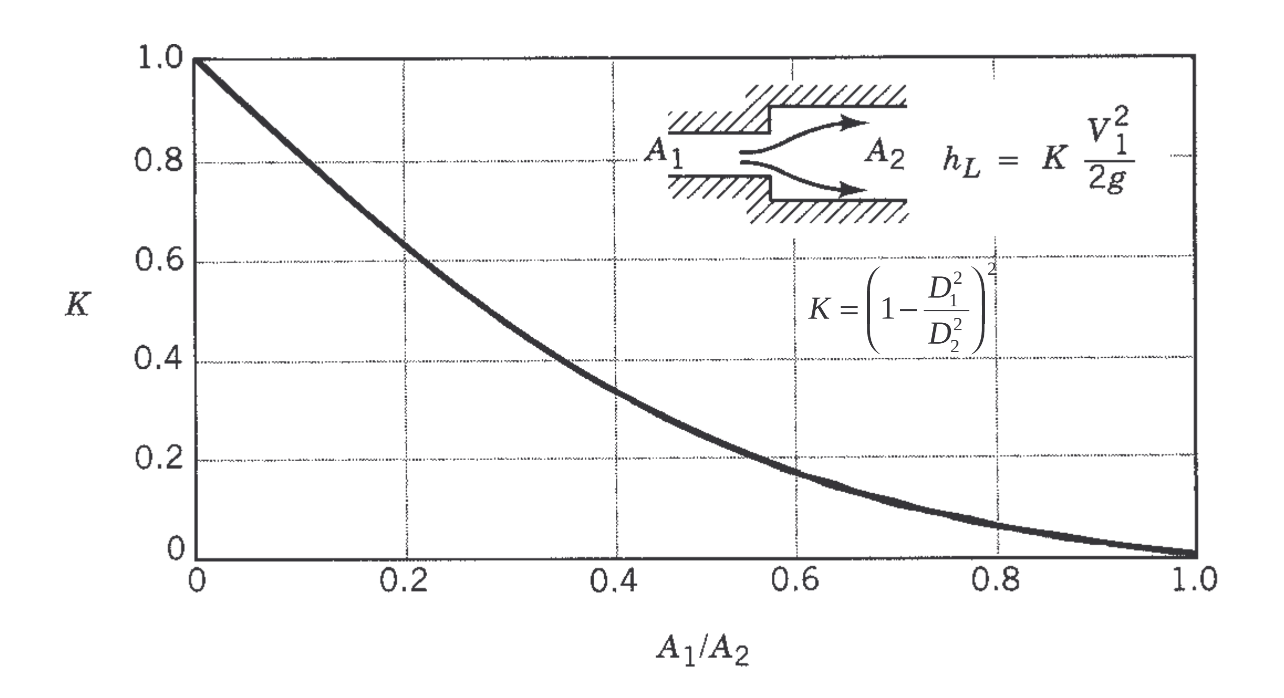


Figura 2.8 Coeficiente de pérdida *(K)* para expansión brusca.
(Munson B. R. et al., 1994)

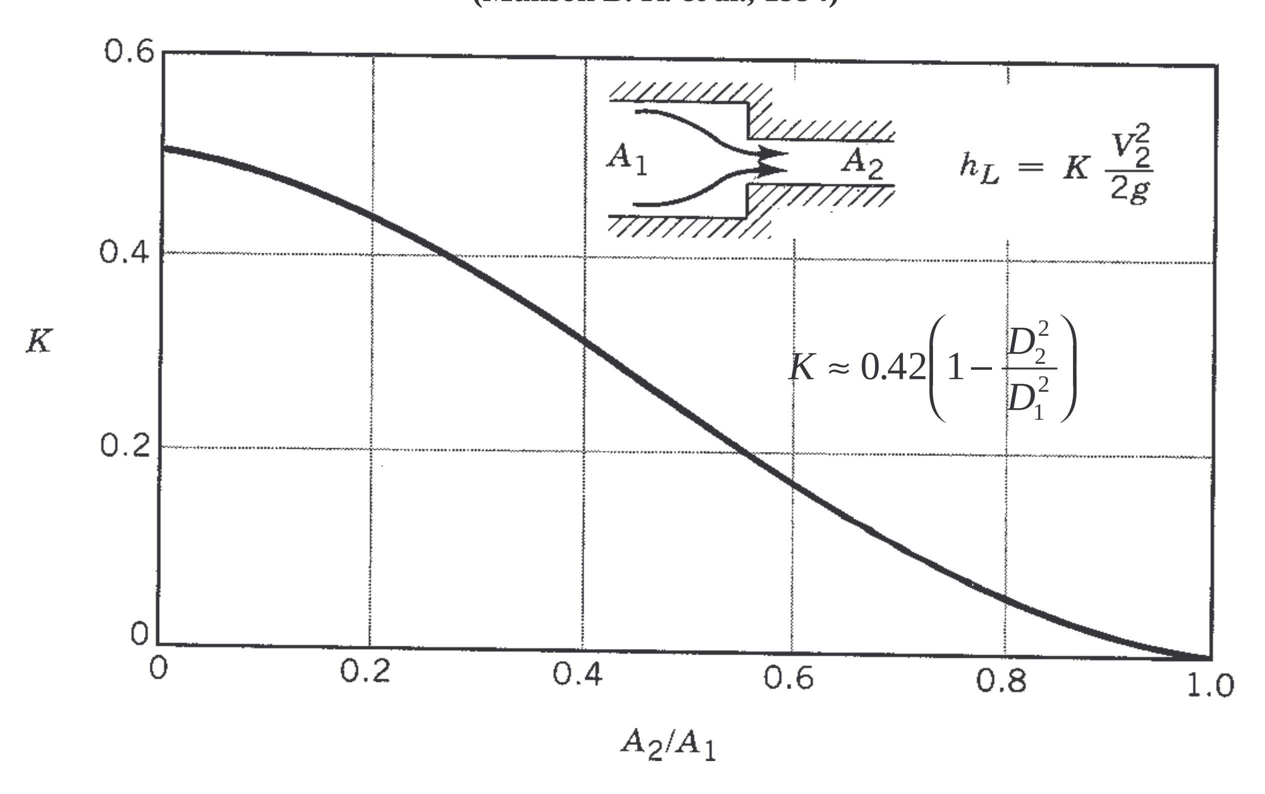


Figura 2.9 Coeficiente de pérdida *(K)* para contracción brusca.
(Munson B. R. et al., 1994).

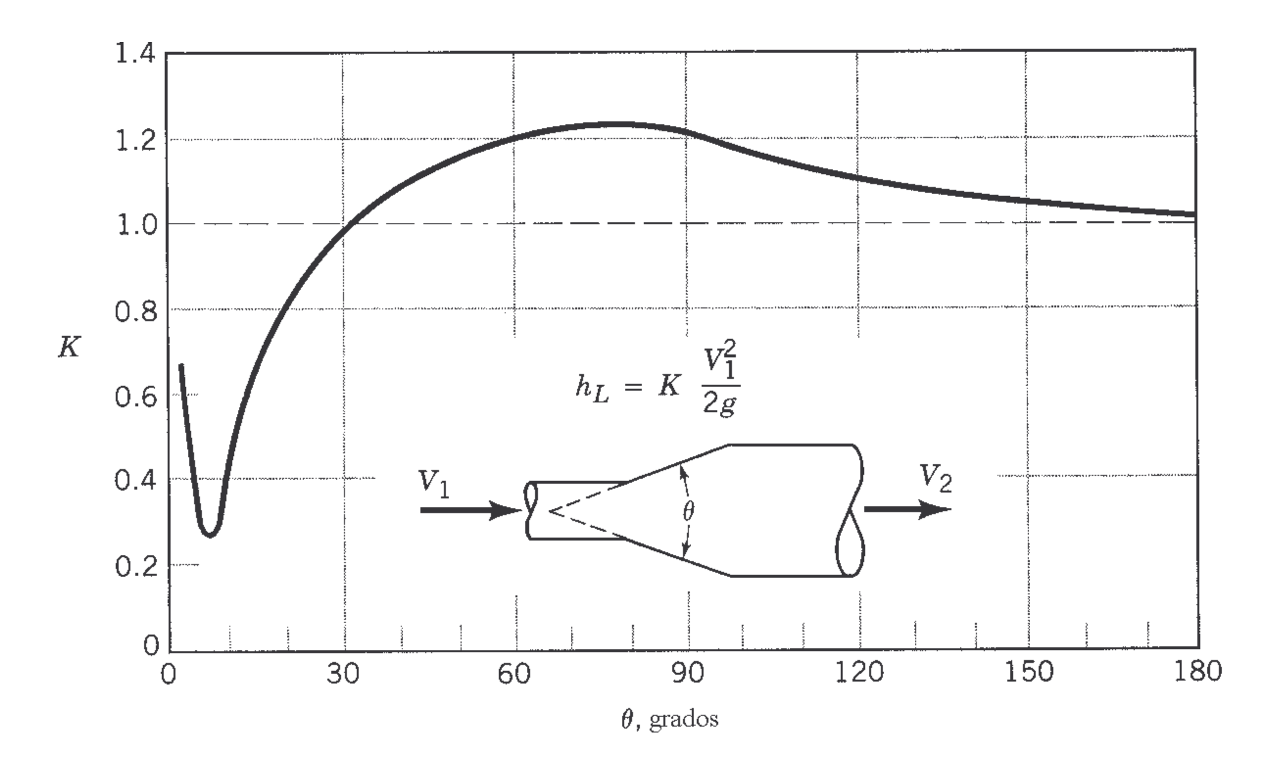


Figura 2.10 Coeficiente de pérdida *(K)* para expansión suave. (Munson B. R. et al., 1994)

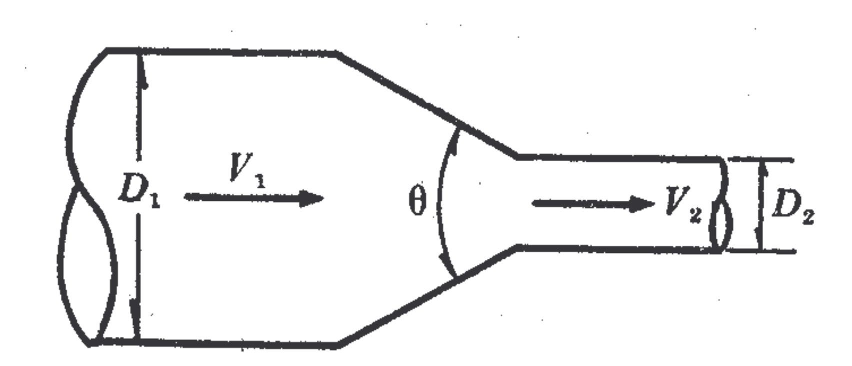


Figura 2.11 Contracción gradual. (Sotelo A. G., 1982).

Tabla 2.4 Coeficiente de pérdida *(K)* para contracción gradual en función de la velocidad de salida. Conductos redondos y rectangulares. (Sotelo A., G., 1982).

θ	4° a 5°	7°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	80°
K	0.060 0.005	0.16	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35

2.3.1.4 Coeficiente de pérdidas por cambio de dirección

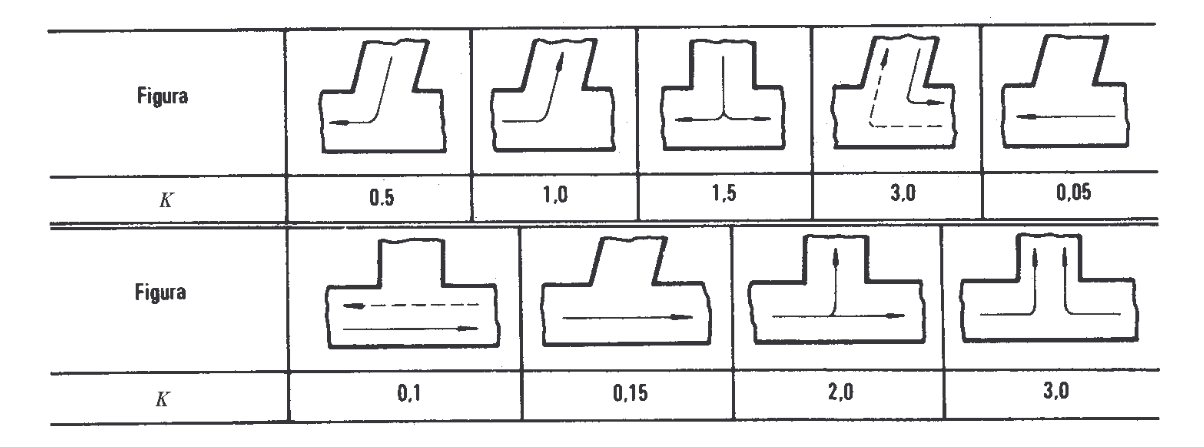


Figura					
K	0.5	1,0	1,5	3,0	0,05

Figura				
K	0,1	0,15	2,0	3,0

Figura 2.12 Coeficiente de pérdidas *(K)* por cambio de dirección. (Mataix C., 1982).

2.3.1.5 Coeficiente de pérdidas por bifurcación y confluencia

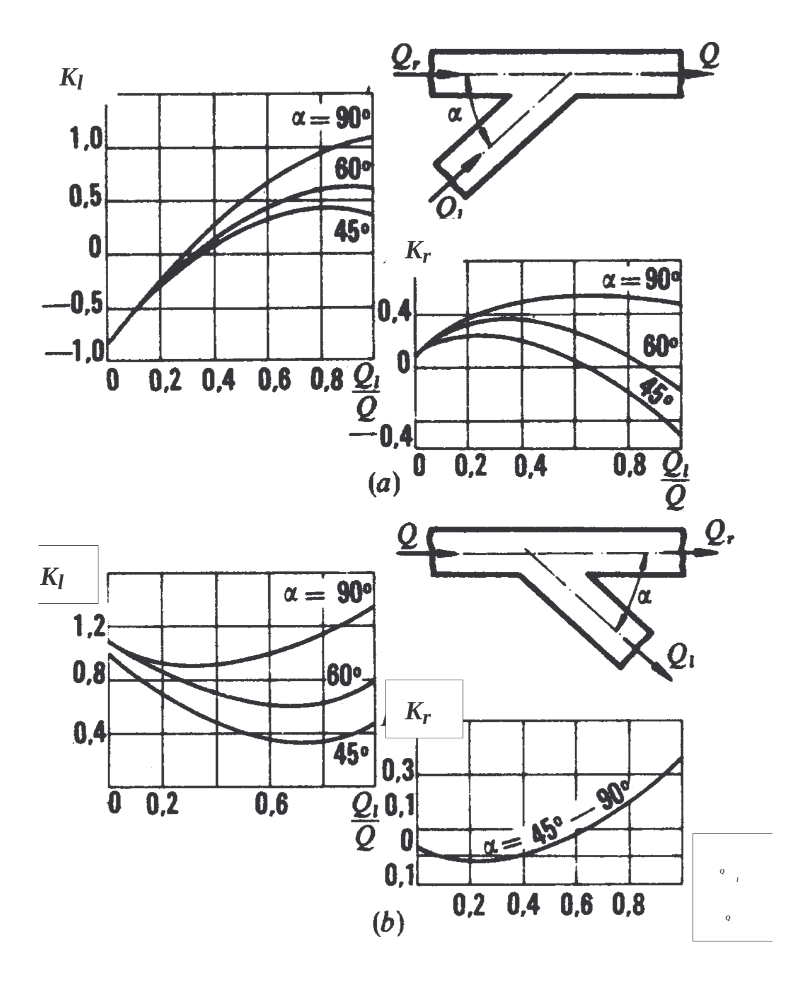
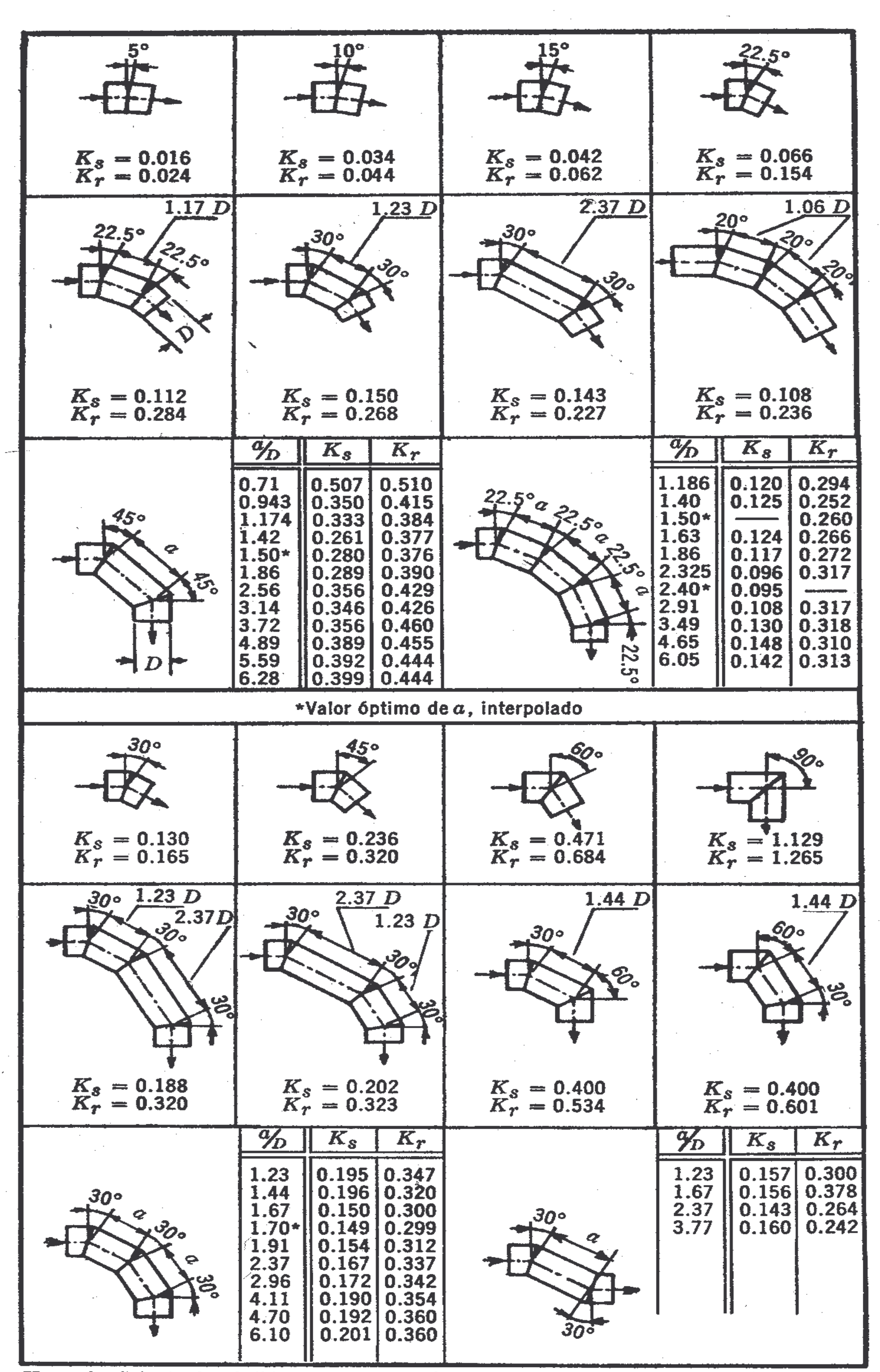


Figura 2.13 Coeficiente de pérdida *(K)* por bifurcación y confluencia en tuberías con cantos agudos. (Mataix C., 1982).



a/D	K_s	K_r
0.71	0.507	0.510
0.943	0.350	0.415
1.174	0.333	0.384
1.42	0.261	0.377
1.50*	0.280	0.376
1.86	0.289	0.390
2.56	0.356	0.429
3.14	0.346	0.426
3.72	0.356	0.460
4.89	0.389	0.455
5.59	0.392	0.444
6.28	0.399	0.444

a/D	K_s	K_r
1.186	0.120	0.294
1.40	0.125	0.252
1.50*	—	0.260
1.63	0.124	0.266
1.86	0.117	0.272
2.325	0.096	0.317
2.40*	0.095	—
2.91	0.108	0.317
3.49	0.130	0.318
4.65	0.148	0.310
6.05	0.142	0.313

*Valor óptimo de a, interpolado

a/D	K_s	K_r
1.23	0.195	0.347
1.44	0.196	0.320
1.67	0.150	0.300
1.70*	0.149	0.299
1.91	0.154	0.312
2.37	0.167	0.337
2.96	0.172	0.342
4.11	0.190	0.354
4.70	0.192	0.360
6.10	0.201	0.360

a/D	K_s	K_r
1.23	0.157	0.300
1.67	0.156	0.378
2.37	0.143	0.264
3.77	0.160	0.242

K_s = Coeficiente de pérdida para una superficie lisa.
K_r = Coeficiente de pérdida para una superficie rugosa, $\frac{\epsilon}{D} = 0.0022$.

Figura 2.14. Coeficientes de pérdida para curvas compuestas y número de Reynolds de 2.25*10^5. (Sotelo A. G., 1982).

2.3.1.6 Coeficiente de pérdidas por válvulas

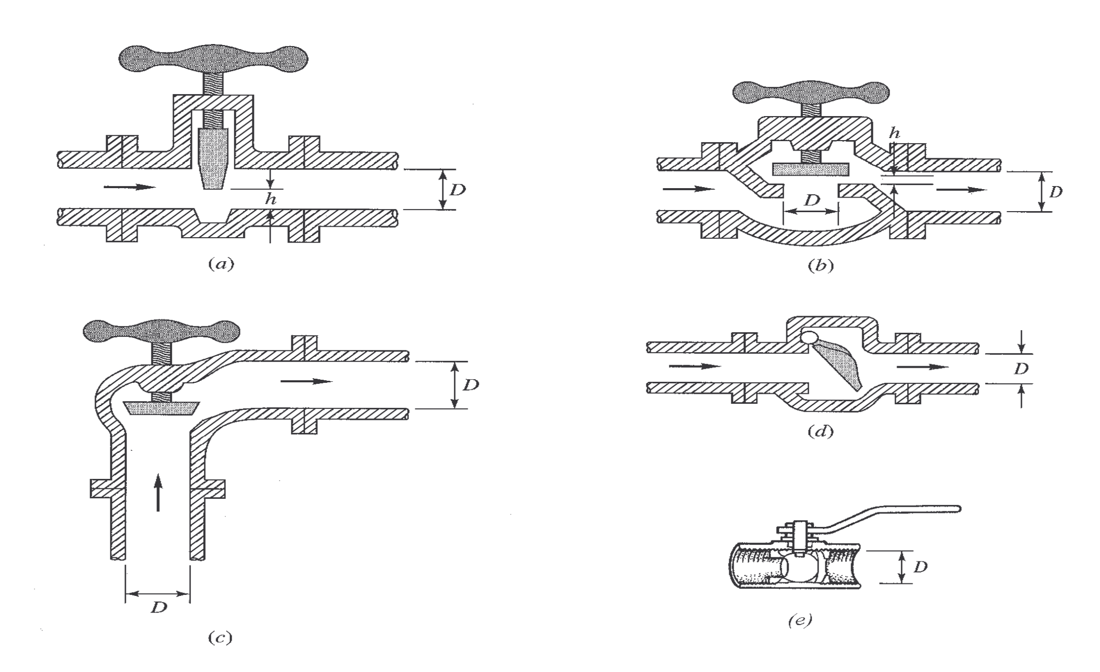


Figura 2.15. Geometría típica de válvulas comerciales (a) válvula de compuerta, (b) válvula de globo, (c) válvula de ángulo, (d) válvula cheque, (White F. M., 1994), (e) válvula de bola o esférica, (Gerhart P. M. et al., 1992)

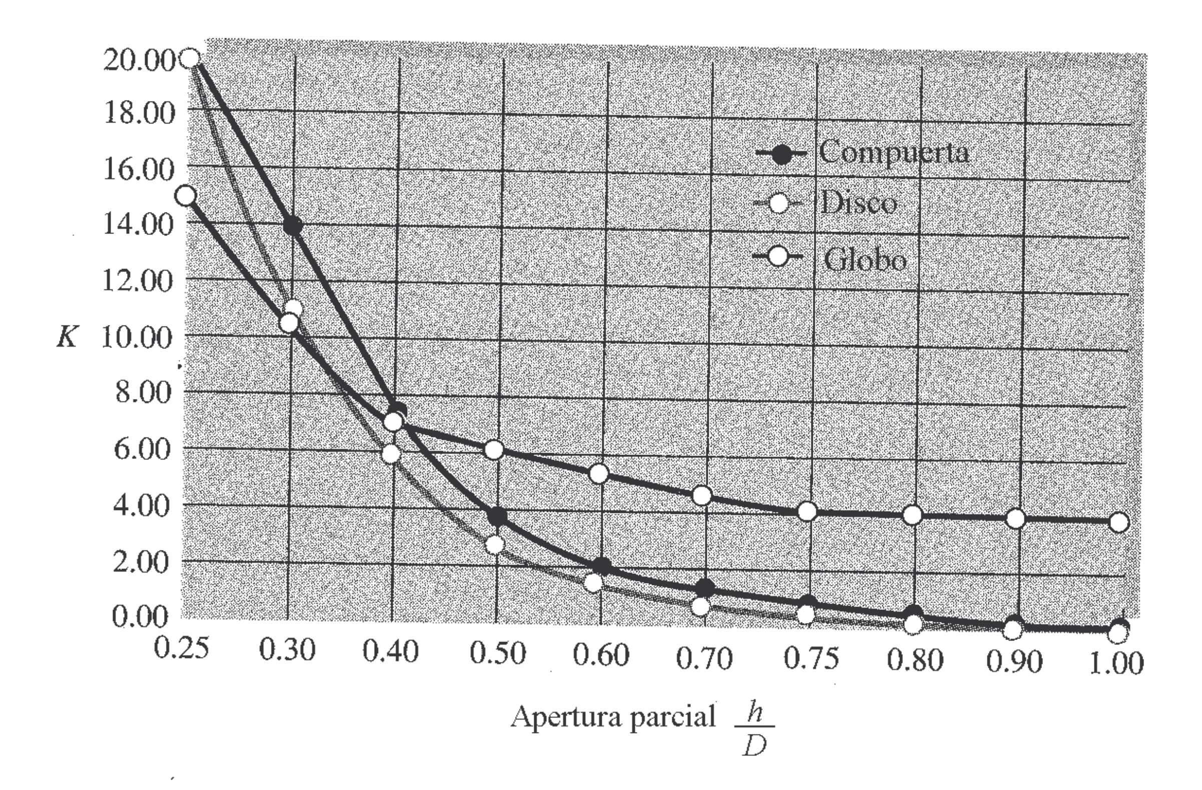


Figura 2.16. Coeficiente promedio de pérdida *(K)* para válvulas parcialmente abiertas, compuerta, disco con eje horizontal o mariposa y globo. (White F. M., 1994).

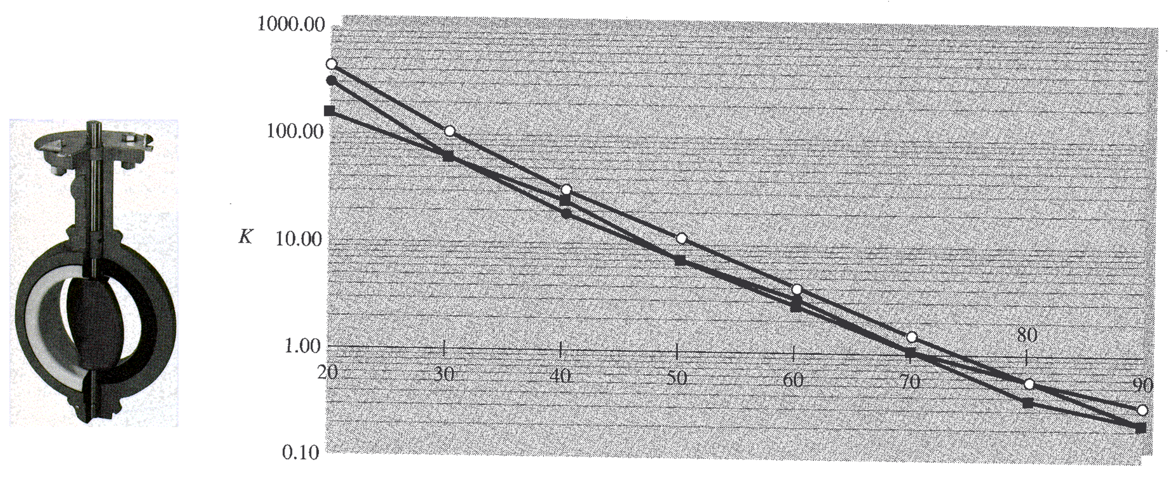


Figura 2.17. Coeficiente de pérdida *(K)* para válvula de disco de eje vertical según tres fabricantes. (White F. M., 1994).

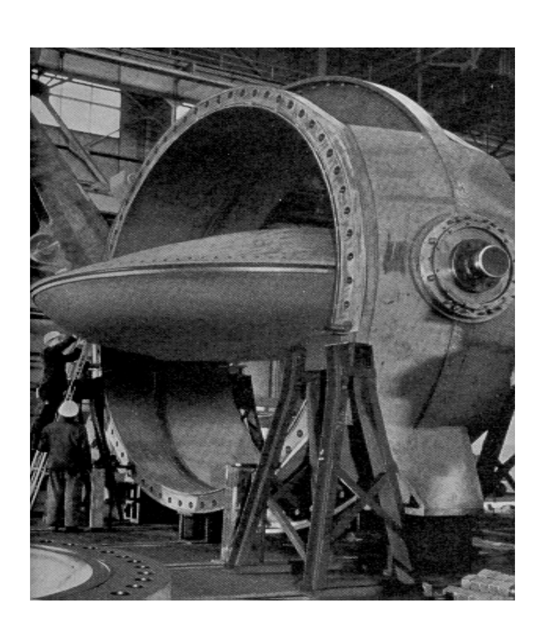


Figura 2.18. Válvulas mariposa. Suárez, V., L. M. (1982).

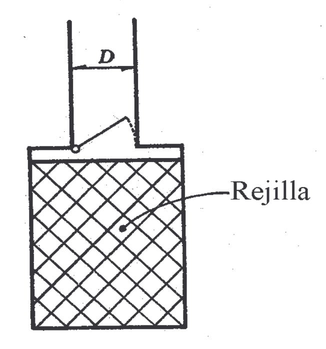


Figura 2.19. Válvulas de pie con rejilla. (Sotelo A. G., 1982).

Tabla 2.5 Coeficiente de pérdida *(K)* para válvulas de pie abierta con rejilla. (Sotelo A., G., 1982).

***D* (cm)**	**4**	**5**	**6.5**	**8**	**10**	**12.5**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
K	12.9	10.0	8.8	8.0	7.0	6.5	6.0	5.2	4.4	3.7	3.4	3.1	2.8	2.5

Tabla 2.6 Coeficiente de pérdida *(K)* para aditamentos de tuberías. (Munson .B. R. et al., 1990).

Componente	***K***	**Diagrama**
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

Tabla 2.7 Coeficientes de pérdidas *(K)* para aditamentos en tuberías de diferente diámetro (Adaptado de White F. M., 1994).

Tipo de accesorio	Diámetro nominal (pulgadas)								
	Roscada				Con bridas o extremo liso				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas completamente abiertas	14.00	8.20	6.90	5.70	13.00	8.50	6.00	5.80	5.50
Globo	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Compuerta	5.10	2.90	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cheque	9.00	4.70	2.00	1.00	4.50	2.40	2.00	2.00	2.00
Angulo									
Codos									
45° radio corto	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° radio largo					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° radio corto	2.0	1.50	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° radio largo	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° radio corto	2.0	1.50	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° radio largo					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tee de paso directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Tee de salida lateral	2.40	1.80	1.40	1.10	1.00	0.80	0.64	0.58	0.41

2.3.1.7 Coeficiente de pérdidas por rejilla

Para rejillas totalmente sumergidas se puede obtener una aproximación media del coeficiente de pérdida *K* usando la fórmula de Creager, (SoteloA., G., 1982).

$$K = 1.45 - 0.45(A_n / A_b) - (A_n / A_b)^2$$

A_n = área neta de paso entre rejillas
A_b = área bruta de la estructura de rejillas

Nota: La velocidad a usar es la velocidad neta a través de las rejillas

2.3.2 Longitudes equivalentes

Tabla 2.8 Longitudes equivalentes a perdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido). (Azevedo N., J. y Acosta A., G. 1975)

DIAMETRO D mm	pulg.	Codo 90° Radio largo	Codo 90° Radio medio	Codo 90° Radio corto	Codo 45°	Curva 90° R/D 1 1/2	Curva 90° R/D 1	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de Borda	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Té paso directo	Té salida lateral	Té salida bilateral	Válvula de pie	Salida de Tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* **Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.**

Nota: las longitudes equivalentes de la tabla corresponden a tuberías de hierro fundido. Deben usarse factores de corrección para otros materiales, FC = $(Cmaterial/100)^{185}$.

Tabla 2.9 Ecuaciones para el cálculo de longitudes equivalentes. (Modificada de Pérez C. R., 1997).

Aditamento	Longitud equivalente(m) D (pulgadas) C Hazen Williams.
Codo radio largo 90°	$Le = (0.52D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Codo radio medio 90°	$Le = (0.67D+0.09)(C/100)^{1.85}$
Codo radio corto 90°	$Le = (0.76D+0.17)(C/100^{1.85}$
Codo de 45°	$Le = (0.38D+0.02)(C/100)^{1.85}$
Curva 90° r/D = 1 ½	$Le = (0.30D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Curva 90° r/D = 1	$Le = (0.39D+0.11)(C/100)^{1.85}$
Curva de 45°	$Le = (0.18D+0.06)(C/100)^{1.85}$
Entrada normal	$Le = (0.46D+0.08)(C/100)^{1.85}$
Entrada de borda	$Le = (0.77D-0.04)(C/100)^{1.85}$
Válvula de compuerta abierta	$Le = (0.17D+0.03)(C/100)^{1.85}$
Válvula de globo abierta	$Le = (8.44D+0.50)(C/100)^{1.85}$
Válvula de ángulo abierta	$Le = (4.27D+0.25)(C/100)^{1.85}$
Tee de paso directo	$Le = (0.53D+0.04)(C/100)^{1.85}$
Tee con salida de lado	$Le = (1.56D+0.37)(C/100)^{1.85}$
Tee con salida a ambos lados	$Le = (0.56D+0.33)(C/100)^{1.85}$
Válvula de pie con rejilla	$Le = (6.38D+0.40)(C/100)^{1.85}$
Válvula de retención tipo liviano	$Le = (2.00D+0.20)(C/100)^{1.85}$
Válvula de retención tipo pesado	$Le = (3.20D+0.03)(C/100)^{1.85}$
Reducción gradual	$Le = (0.15D+0.01)(C/100)^{1.85}$
Ampliación gradual	$Le = (0.31D+0.01)(C/100)^{1.85}$
Salida de tubería	$Le = (0.77D+0.04)(C/100)^{1.85}$

Nota: Las ecuaciones deben aplicarse para diámetros comerciales (pulgadas) y el coeficiente de velocidad C para la ecuación de Hazen-Williams (ver Tabla 2.3).

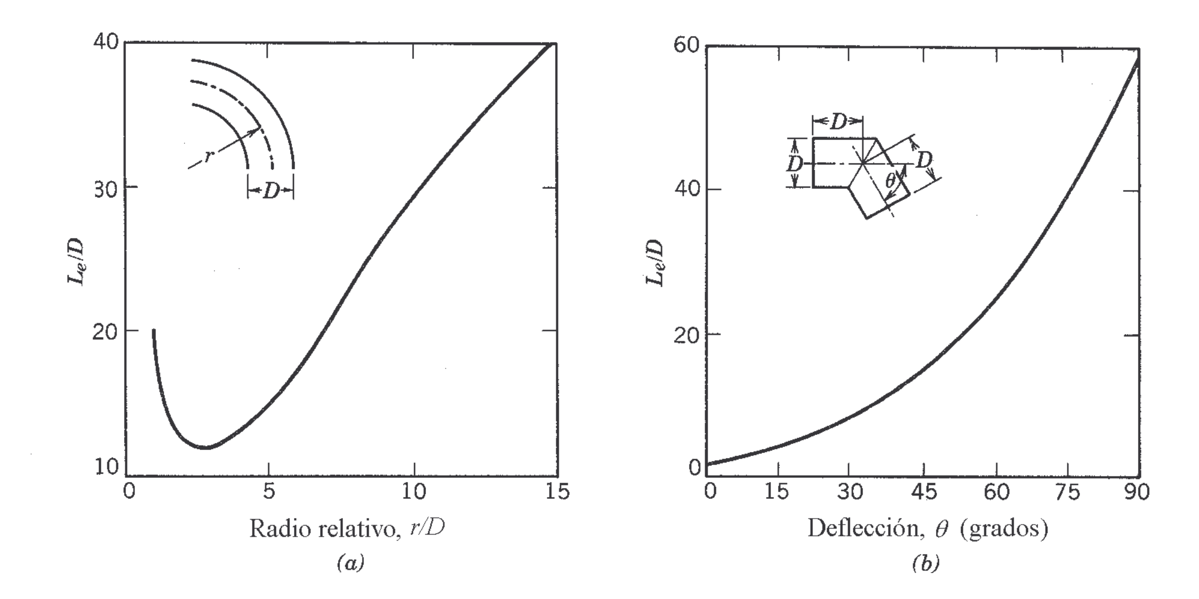


Figura 2.20. Resistencia representativa total *Le/D*, (a) Codos y curvas de 90º, (b) cambio de dirección brusco (Fox R. W. y McDonald A. T., 1992)

Tabla 2.10 Longitudes equivalentes representativas (*Le/D*) para válvulas y accesorios.
(Fox, R. W. et al., 1992).

Accesorio	*Le/D*
Válvulas completamente abiertas	
- Válvula de compuerta	8
- Válvula de globo	340
- Válvula de ángulo	150
- Válvula de bola	3
- Válvula de cheque	
Globo	600
Angulo	55
- Válvula de pie con coladera	
Disco cabezal	420
Disco con bisagra	75
Codo de 90°	30
Codo de 45°	16
Retorno a 180°	50
Tee de paso directo	20
Tee de salida lateral	60

2.4 Envejecimiento de tuberías de hierro y acero

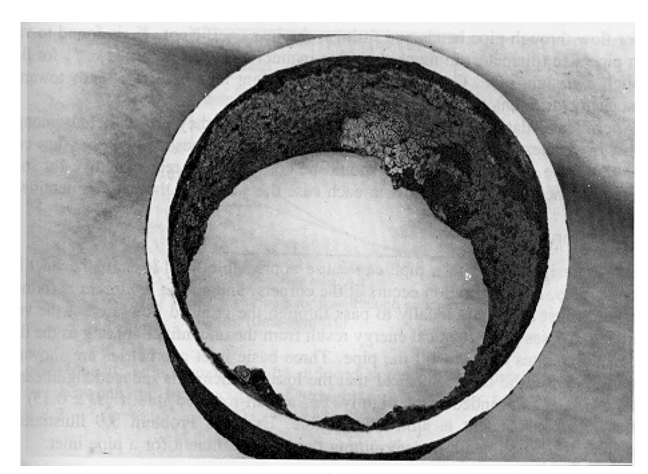


Figura 2.21. Envejecimiento en tuberías (Fox R. W. y McDonald A. T., 1992).

Con el transcurrir del tiempo y a consecuencia de diferentes causas, la capacidad de transporte del agua de las tuberías va disminuyendo. De acuerdo con las observaciones de Hazen y Williams la capacidad de un conducto se disminuye tal como se observa en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Capacidad de las tuberías de hierro y acero sin revestimiento interno permanente. (Azevedo N. J. y Acosta A. G., 1975)

Edad de la tubería	*D* = 4" (100mm)	6" (150mm)	10" (250mm)	16" (400mm)	20" (500mm)	30" (750mm)
	Capacidad de la tubería *Q* (%)					
Tubos nuevos	100	100	100	100	100	100
Después de 10 años	81	83	85	86	86	87
Después de 20 años	68	72	74	75	76	77
Después de 30 años	58	62	65	67	68	69
Después de 40 años	50	55	58	61	62	63
Después de 50 años	43	49	54	56	57	59

Se han hecho distintos intentos para evaluar el efecto corrosivo del agua en conductos, basándose en la reducción del gasto calculado teóricamente de acuerdo con el pH del agua y el número de años de servicio de la tubería. El criterio de Genijew, expuesto por G. Sotelo A. (1982), parece ser el más efectivo para modificar la rugosidad absoluta del tubo nuevo, usando la siguiente ecuación:

$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + at$

ε_0 = rugosidad del tubo nuevo [mm]

ε_t = rugosidad del tubo después de t años de servicio [mm]

a = coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua que va a escurrir. Tabla 2.12

t = número de años de servicio de la tubería

Tabla 2.12. Coeficientes a de la fórmula de Genijew. Sotelo A., G. 1982.

Grupo	Tipo de agua	*a*
I	Agua con poco contenido mineral que no ocasiona corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro.	0.005 < *a* < 0.055 Valor medio = 0.025
II	Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/l de materia orgánica y hierro en solución.	0.055 < *a* < 0.18 Valor medio = 0.07
III	Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfatos (menos de 100 a 150 mg/l). Agua con un contenido de hierro de mas de 3 mg/l.	0.18 < *a* < 0.40 Valor medio = 0.20
IV	Agua que origina corrosión, con un gran contenido de cloruros y sulfatos (mas de 500 a 700 mg/l). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica.	0.4 < *a* < 0.6 Valor medio = 0.51
V	Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2000 mg/l.	*a* varía de 0.6 a mas que 1.

2.5. Golpe de ariete

2.5.1. Conductos con características uniformes

2.5.1.1 Sobrepresión máxima (Fórmulas de Joukovsky)

- **Cierre rápido**

$$\Delta h_{max} = \frac{cV}{g}$$

- **Cierre lento**

$$\Delta h_{max} = \frac{cV}{g}\frac{T}{t_c}$$

c = celeridad de la onda de presión (m/s)
V = velocidad media en el conducto (m/s)
T = tiempo de reflexión de la onda de sobrepresión o período de la tubería (s)
t_c = tiempo de cierre
t_c = tiempo de cierre instantáneo = 0

2.5.1.2 Celeridad o velocidad de propagación de la onda de sobrepresión

Fórmula de Allievi :

$$c = \sqrt{\frac{E_v / \rho}{1 + \left(\frac{E_v}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)a}}$$

E_v = módulo de elasticidad volumétrico del agua (Kg_f/m^2). (Ver Tabla 2.14)
ρ = densidad del fluido $Kg_f\text{-}s^2/m^4$. (Ver Tablas 1.2, 1.3 y 2.14)
E = módulo de elasticidad de Young de la tubería (Kg_f/m^2). (Ver Tabla 2.13)
D = diámetro interno del tubo
e = espesor de la pared del tubo
a = parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de onda sobre el tubo

$a = 1 - \xi/2$ para tuberías aseguradas solo en el extremo de aguas arriba.
$a = \xi^2$ para tuberías aseguradas a todo lo largo para prevenir movimiento axial.
$a = 1$ para tuberías aseguradas a todo lo largo con juntas de expansión para permitir movimiento longitudinal.
ξ = relación de Poisson

El numerador de la fórmula de Allievi, es la velocidad de la onda elástica en el fluido, el cual en el caso de agua a 20 °C se puede aproximar asi:

$$\sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \approx 1480 \text{ m/s}$$

Para agua a 20 °C y tuberías aseguradas a todo lo largo y con juntas de expansión para permitir movimiento longitudinal:

$$c = \frac{1480}{\sqrt{1+\left(\frac{E_v}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)}}$$

Nota: Ver ecuación para tuberías de PVC. Sección 2.6.2.

2.5.1.3 Tiempo de reflexión de la onda de sobrepresión o período de la tubería

$$T=\frac{2L}{c}$$

T = tiempo de reflexión de la onda de sobrepresión o período de la tubería (s)
L = longitud de la tubería (m)

2.5.2 Conductos con características variables

Cuando un sistema hidráulico está compuesto por tramos con características diferentes (geometría, tipo de material del conducto, espesor de las paredes del conducto, caudal, etc.), el sistema se puede representar por uno equivalente de características homogéneas, las cuales se calculan como un promedio ponderado de las características de los diferentes tramos, como propone A. Ojeda, (1992).

2.5.2.1 Sobrepresión máxima

- **Cierre rápido**

$$\Delta h_{max} = \frac{c_e V_e}{g}$$

- **Cierre lento**

$$\Delta h_{max} = \frac{c_e V_e}{g}\frac{T_e}{t_c}$$

c_e = celeridad equivalente de la onda de presión (m/s)
V_e = velocidad media equivalente en el conducto (m/s)
t_e = Tiempo equivalente de reflexión de la onda de sobrepresión o período de la tubería (s)
t_c = tiempo de cierre

2.5.2.2 Velocidad media equivalente en el conducto

$$V_e = \sqrt{\frac{Q\sum_{i=1}^{n} L_i V_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i A_i}}$$

L_i= Longitud del tramo i
V_i= Velocidad media en el tramo i
A_i = Area media del conducto en el tramo i

2.5.2.3 Celeridad o velocidad equivalente de propagación de la onda de sobrepresión

$$c_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{c_i}}$$

c_i = Celeridad de la onda de sobrepresión en el tramo i

2.5.2.4 Tiempo de reflexión equivalente de la onda de sobrepresión o período de la tubería

$$T_e = \frac{2\sum_{i=1}^{n} L_i}{c_e}$$

2.5.3 Casos especiales

2.5.3.1 Velocidad de la onda en un túnel circular no revestido

$$c = \sqrt{\frac{E_v / \rho}{1 + \frac{E_v}{G}}}$$

G = módulo de rigidez del material del túnel. Ver Tabla 2.15.

2.5.3.2 Velocidad de onda en túneles revestidos en acero

Las velocidades de onda son ligeramente mayores que la encontradas en túneles no revestidos.

$$c = \sqrt{\frac{E_v / \rho}{1 + \frac{E_v}{E}\frac{D}{e}C_1}}$$

$$C_1 = \frac{Ee_a}{GD + Ee_a}$$

e_a = espesor del revestimiento en acero

2.5.3.3 Velocidad de onda en túneles revestidos en acero y/o concreto reforzado

Las velocidades de onda son ligeramente mayores que la encontradas en túneles no revestidos.

$$c = \sqrt{\frac{E_v / \rho}{1 + \frac{E_v}{E}\frac{D}{e} C_1}}$$

$$C_1 = \frac{Ee_e}{GD + Ee_e}$$

e_e = espesor de acero equivalente del revestimiento

$$e_e = \frac{E_c}{E_s} e_c + \frac{A_s}{Z_s} + e_a$$

E_c = módulo de elasticidad de la tubería de concreto
E_s = módulo de elasticidad de la tubería de acero
e_c = espesor de la tubería de concreto
A_s = área del refuerzo
Z_s = espaciamiento del refuerzo
e_a = espesor del revestimiento en acero

2.5.3.4 Tubería de concreto reforzado

$$c = \sqrt{\frac{E_v / \rho}{1 + \frac{E_v}{E}\frac{D}{e} C_1}}$$

$$C_1 = \frac{Ee_e}{GD + Ee_e}$$

e_e = espesor de acero equivalente del revestimiento

$$e_e = \frac{E_c}{E_s} e_c + \frac{A_s}{Z_s}$$

E_c = módulo de elasticidad de la tubería de concreto
E_s = módulo de elasticidad de la tubería de acero
e_c = espesor de la tubería de concreto
A_s = área seccional del refuerzo
Z_s = espaciamiento del refuerzo

Tabla 2.13 Módulo de elasticidad de Young y relación de Poisson para tubos de varios materiales. (Díaz M. S. y Sosa C. R., 1982).

Material	Módulo de elasticidad *E* (Kg_f/m^2)	Relación de Poisson ξ
Mezcla de aluminio	7.19 E09	0.33
Asbesto cemento	2.45 E09	
Bronce	9.59 E09	0.36
Hierro fundido	1.28 E10	0.25
Concreto	2.24 E09	0.13
Cobre	1.21 E10	0.34
Vidrio	6.07 E09	0.24
Plomo	1.11 E09	0.44
Acero dulce o suave	2.10 E10	0.27
Plásticos		
Nylon	2.12 E08	
Perspex	6.12 E08	0.33
Polietileno	8.16 E07	0.46
Poliestireno	5.10 E08	0.40
PVC rígido	2.63 E08	
Rocas		
Granito	5.10 E09	0.28
Caliza	5.16 E09	0.21
Cuarzita	3.51 E09	
Arenisca	3.85 E08	0.28
Esquisto	1.28 E09	

Tabla 2.14. Módulo de elasticidad volumétrico del agua y densidad de líquidos comunes a la presión atmosférica. (Díaz M. S. y Sosa C. R., 1982).

Líquido	Temperatura °C	Densidad ρ (Kg_f-s^2/m^4)	Módulo volumétrico de elasticidad E_v (Kg_f/m^2)
Benceno	15	89.8	1.07 E08
Alcohol	0	80.6	1.35 E08
Glicerina	15	128.6	4.52 E08
Keroseno	20	82.0	1.35 E08
Mercurio	20	1384.7	2.67 E09
Aceite	15	91.8	1.53 E08
Agua	20	101.9	2.23 E08
Agua salada	15	104.6	2.32 E08

Tabla 2.15. Valores aproximados del módulo de rigidez para varios materiales. Adaptada de Ziparro, V. J. y Hasen H. (1993).

Material	**Módulo de rigidez *G* (Kg_f/m^2)**
Concreto masivo	9.80 E 08
Arenisca	7.07 E 08 a 13.58 E 08
Limolita	11.20E 08 a 25.06 E 08
Dolomita	16.59 E 08 a 19.32 E 08
Shale	2.24 E 08 a 4.41 E 08
Cuarcita	40.32 E 08
Mármol	17.36 E 08 a 22.61 E 08
Granito	30.73 E 08
Diabasa	32.41 E 08
Basalto	13.44 E 08 a 32.97 E 08
Tufa	1.47 E 08

2.6 Número de vueltas necesario para cerrar válvulas

Tabla 2.16. Número de vueltas para cerrar o abrir una válvula. Silva G., L. F. 1975.

Diámetro del tubo (”)	Número de vueltas para abrir la válvula	Tiempo mínimo de cierre (s)
4	9	9
6	13	18
8	27	42
10	32 1/2	58
12	38 1/2	69
14	45	91
16	52	105
18	58	117
20	64	158
22	76	188
24	76	188

2.7 Determinación de codos comerciales

Los tamaños estándar de los codos son los correspondientes a los ángulos de deflexión de 90°, 45°, 22 ½°, y 11 1/4°. Después de determinar las pendientes de los diferentes lineamientos, se debe escoger el codo apropiado. Para los casos que se indican esquemáticamente, se suman o restan las pendientes asi:

Tabla 2.17. Determinación de ángulos de deflexión. Silva G., L. F. 1975.

Pendientes		Caso
		Suma de pendientes
		Resta de pendientes

Tabla 2.18. Determinación de codos. Silva G., L. F. 1975.

Suma y diferencia de pendientes comprendida entre (%)	Codo apropiado
14 a 30	11 1/4°
31 a 53	22 ½°
54 a 83	22 ½° + 11 1/4°
84 a 119	45°
120 a 180	45° + 11 1/4°

La determinación está basada en que cada campana permita una deflexión de hasta 5°.

2.8 Clases de Tuberías a Presión

Las tuberías se pueden clasificar según el material empleado en su construcción y según las presiones internas de trabajo. De acuerdo al material empleado en su fabricación, las tuberías mas comunes son las de hierro fundido, hierro fundido dúctil, hierro o acero galvanizado, asbesto cemento y policloruro de vinilo (PVC). Algunos aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de seleccionar una tubería son la fragilidad, grado de corrosividad, flexibilidad, rugosidad y peso.

Existen diferentes denominaciones para las clases de tuberías en función de su presión de trabajo: ASTM: American Society for Testing and Materials
AWWA: American Water Works Association
ISO: International Organization for Standardization
Las tuberías plásticas como las de PVC, se clasifican según el RDE (relación diámetro/espesor).

Tabla 2.19 Clases de tuberías en función de la presión. Normas AWWA.

Clase	**Presión de trabajo mca**	**Presión de trabajo lbs/pulg^2**
100	70	100
150	105	150
200	140	200
250	175	250
300	210	300
350	245	350

2.8.1 Dimensiones de tubos de hiero dúctil

× 0.7 = ___ m.c.a.

Tabla 2.20 Servicio de presión clase 150 para 150 lb/pulg² (1.03 MPa). = 105 m.c.a.

Tamaño nominal	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
(pulg)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie²)	(m²)
3	3.96	100.6	0.320	8.13	3.32	0.277	84.3	0.0601	5.585×10^{-3}
4	4.80	121.9	0.350	8.89	4.10	0.342	104.1	0.0917	8.518×10^{-3}
6	6.90	175.3	0.380	9.65	6.14	0.512	156.0	0.2056	1.910×10^{-2}
8	9.05	229.9	0.410	10.41	8.23	0.686	209.0	0.3694	3.432×10^{-2}
10	11.10	281.9	0.440	11.18	10.22	0.852	259.6	0.5697	5.292×10^{-2}
12	13.20	335.3	0.480	12.19	12.24	1.020	310.9	0.8171	7.591×10^{-2}
14	15.65	397.5	0.510	12.95	14.63	1.219	371.6	1.167	0.1085
16	17.80	452.1	0.540	13.72	16.72	1.393	424.7	1.525	0.1417
18	19.92	506.0	0.580	14.73	18.76	1.563	476.5	1.920	0.1783
20	22.06	560.3	0.620	15.75	20.82	1.735	528.8	2.364	0.2196
24	26.32	668.5	0.730	18.54	24.86	2.072	631.4	3.371	0.3132

2.8.2 Tubería Eternit (Asbesto y Cemento Portland) 1986

Tabla 2.21 Tipos de tuberías de Eternit.

Tubo clase	Color banda de identificación	Presión de prueba		Presión de servicio	
		ICONTEC Kg/cm^2	ISO psi	ICONTEC Kg/cm^2	ISO psi
10	Azul	10	140	5.0	70.0
15	Anaranjado	15	215	7.5	107.5
20	Rojo	20	285	10.0	142.5
25	Verde	25	355	12.5	177.5
30*	Negro	30	425	15.0	212.5

*Clases superiores por pedido especial. 1” = 2.5 cm. Longitudes entre 2 y 4 m.

Clases 10 y 15. Diámetros: 6”, 8”, 10”, 12”, 14”, 16”, 18”, 20”, 24”, 28”

Clase 20. Diámetros: 4”, 6”, 8”, 10”, 12”, 14”, 16”, 18”, 20”, 24”

Clase 25. Diámetros: 2”, 3”, 4”, 6”, 8”, 10”, 12”, 14”, 16”, 18”, 20”, 24”

Clase 30. Diámetros: 2”, 3”, 4”, 6”, 8”, 10”, 12”, 14”, 16”, 18”, 20”, 24”

Unión Etermatic: diámetros según la clase

Unión Reka: 28”

Tabla 2.22. Deflexiones máximas por unión.

Diámetro		Angulo de deflexión
Pulgada	mm	Grados
2 – 4	50 - 100	4°
6 - 8	150 - 200	3°
10 - 28	250 - 700	2°

2.8.3 Tubería Presión PVC y CPVC (PAVCO) 2002

PVC: POLIURETANO DE VINILO
CPVC: POLIURETANO DE VINILO CLORADO

TUBOSISTEMAS PRESION PAVCO
Tuberías Presión PAVCO (Agua Fría).

	Diámetro nominal		Peso	Diámetro exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
	mm	Pulg.	gr/m	mm	pulg.	mm	pulg.
RDE 9 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 500PSI	21	1/2	218	21.34	0.840	2.37	0.093
RDE 11 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 400PSI	26	3/4	304	26.67	1.050	2.43	0.095
RDE 13.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 315PSI	21 33	1/2 1	157 364	21.34 33.40	0.840 1.315	1.58 2.46	0.062 0.097
RDE 21 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 200PSI	26 33 42 48 60 73 88 114	3/4 1 1.1/4 1.1/2 2 2.1/2 3 4	189 252 395 514 811 1185 1761 2904	26.67 33.40 42.16 48.26 60.32 73.03 88.90 114.30	1.050 1.315 1.660 1.900 2.375 2.875 3.500 4.500	1.52 1.60 2.01 2.29 2.87 3.48 4.24 5.44	0.060 0.063 0.079 0.090 0.113 0.137 0.167 0.214
RDE 26 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 160PSI	60 73 88 114	2 2.1/2 3 4	655 964 1438 2376	60.32 73.03 88.90 114.30	2.375 2.875 3.500 4.500	2.31 2.79 3.43 4.39	0.091 0.110 0.135 0.173
RDE 32.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 125PSI	88 114	3 4	1157 1904	88.90 114.30	3.500 4.500	2.74 2.51	0.108 0.138
RDE 41 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 100PSI	114	4	1535	114.30	4.500	2.79	0.110

Para tuberías de 6",8",10",12",14",16",18",20" de diámetro vease el Manual Técnico Unión Platino Uni-Safe. La longitud de los tramos es de 6 m. La tubería no debe roscarse

TUBOSISTEMAS PRESIÓN CPVC PAVCO

Agua Caliente.

RDE 11 PVC
Presión de Trabajo a 82°C: 100 PSI

Los diámetros nominales se refieren
A tamaños "COBRE" siendo las roscas NPT

Diámetro nominal		Peso	Diámetro exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
mm	Pulg	gr/m	mm	pulg	mm	pulg
16	1/2	129	15.88	0.625	1.73	0.068
22	3/4	218	22.23	0.875	2.03	0.080
33	1	320	28.60	1.125	2.59	0.102
La longitud normal de los tramos es de 3 m. La tubería para agua caliente no debe roscarse						

TUBERIAS UNION PLATINO PAVCO

La unión platino se caracteriza por tener un sello integrado durante la fabricación del tubo.

RDE13.5 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 315 psi.
2.17Mpa 22.14 Kg/cm²

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
Pulg.	Kg/m	mm	pulg.	mm	pulg
3	2.30	88.90	3.500	6.58	0.259
4	4.36	114.30	4.500	8.46	0.333
6	9.90	168.28	6.625	12.47	0.491
8	16.03	219.08	8.625	16.23	0.639

RDE 21 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23ºC: 200psi-1.38Mpa-14.06Kg/cm²

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
Pulg.	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
2	0.811	60.32	2.375	2.87	0.113
2.1/2	1.185	73.03	2.875	3.48	0.137
3	1.761	88.90	3.500	4.24	0.167
4	2.904	114.30	4.500	5.44	0.214
6	6.314	168.28	6.625	8.03	0.316
8	10.672	219.03	8.623	10.41	0.409
10	16.632	273.05	10.750	12.98	0.511
12	23.453	323.85	12.750	15.39	0.605

RDE 26 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23ºC: 160psi-1.10Mpa-11.25Kg/cm²

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
Pulg.	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg.
2	0.655	60.32	2.375	2.31	0.091
2.1/2	0.964	73.03	2.875	2.79	0.110
3	1.438	88.90	3.500	3.43	0.135
4	2.376	114.30	4.500	4.39	0.173
6	5.148	168.28	6.625	6.48	0.255
8	8.735	219.03	8.623	8.43	0.331
10	13.666	273.05	10.750	10.49	0.412
12	19.288	323.85	12.750	12.45	0.490

RDE 32.5 PVC Tipo1, Grado1

Presión de Trabajo a 23ºC: 125psi-0.85Mpa-8.8Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
88	3	1.157	88.90	3.500	2.74	0.108
114	4	1.904	114.30	4.500	3.51	0.138
168	6	4.135	168.28	6.625	5.18	0.204
219	8	7.019	219.03	8.623	6.73	0.264
273	10	11.135	273.05	10.750	8.41	0.331
323	12	15.701	323.85	12.750	9.96	0.392

RDE 41 PVC Tipo1, Grado1

Presión de Trabajo a 23ºC: 100psi-0.69Mpa-7.03Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
114	4	1.535	114.30	4.500	2.79	0.110
168	6	3.322	168.28	6.625	4.12	0.162
219	8	5.611	219.03	8.623	5.33	0.209
273	10	8.971	273.05	10.750	6.66	0.262
323	12	12.688	232.85	12.750	7.90	0.311

TUBERIAS UNI-SAFE PAVCO

La Uni-safe es una unión mecánica que permite el acople de diámetros de 14", 16", 18" y 20".
Es de tipo campana formada en el tubo con anillo elastomérico con aro de polipropileno.

RDE 21 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 200psi-1.38Mpa-14.06Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
355	14	28.14	355.60	14	16.92	0.666
406	16	36.78	406.40	16	19.35	0.762
457	18	46.53	457.20	18	21.77	0.857
508	20	53.82	508.00	20	24.18	0.952

RDE 26 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 160psi-1.10Mpa-11.25Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
355	14	22.65	355.60	14	13.67	0.538
406	16	30.22	406.40	16	15.62	0.615
457	18	38.03	457.20	18	17.58	0.692
508	20	43.97	508.00	20	19.53	0.769

RDE 32.5 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 125psi-0.86Mpa-8.79Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
355	14	18.28	355.60	14	10.92	0.430
406	16	23.88	406.40	16	12.50	0.492
457	18	30.77	457.20	18	14.07	0.554
508	20	37.95	508.00	20	15.62	0.615

RDE 41 PVC Tipo1,
Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 100psi-
0.69Mpa-7.03Kg/cm²

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
355	14	14.65	355.60	14	8.66	0.341
406	16	19.22	406.40	16	9.91	0.390
457	18	24.63	457.20	18	11.15	0.439
508	20	30.43	508.82	20	12.40	0.488

TUBERIAS DE ALTA PRESIÓN

RDE 9 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 500psi-
3.45Mpa-35.15Kg/cm²

ESPIGO X ESPIGO

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
3	3.89	88.90	3.500	9.88	0.389
4	6.42	114.30	4.500	12.70	0.500
6	13.73	168.28	6.625	18.70	0.736
8	23.30	219.03	8.625	24.34	0.958

RDE 11 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 400psi-
2.76Mpa-28.12Kg/cm²

ESPIGO X ESPIGO

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
pulg	Kg/m	mm	pulg	mm	pulg
3	2.87	88.90	3.500	8.08	0.318
4	5.30	114.30	4.500	10.39	0.409
6	11.53	168.28	6.625	15.30	0.602
8	19.50	219.03	8.625	19.92	0784

RDE 13.5 PVC Tipo1, Grado1
Presión de Trabajo a 23°C: 315psi-2.17Mpa-22.14Kg/cm²

ESPIGO X ESPIGO

Diámetro Nominal	Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
pulg	Kg/m	mm	pulg.	mm	pulg
10 12	24.91 35.04	273.05 323.85	10.750 12.750	20.23 23.99	0.796 0.944

ACOMETIDAS DOMICILIARIAS
PF + UAD

RDE 9 3306.
Presión de Trabajo a 23°C: 160psi-1.10Mpa-11.25Kg/cm²

Tamaño Cobre
La longitud de los rollos es de 90 metros

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	Kg/m	mm	pulg.	mm	pulg
16 22	1/2 3/4	82 160	15.88 22.23	0.625 0.875	1.75 2.46	0.069 0.097

TUBERIAS Y ACCESORIOS PRESION PAVCO
USO AGRICOLA.

TUBERIAS

Extremo liso para soldar

RDE 21 PVC TIPO 1, GRADO 1.
Presión de Trabajo a 23ºC: 200 PSI
1.38Mpa

RDE 26 PVC TIPO 1, GRADO 1.
Presión de Trabajo a 23ºC: 160 PSI
1.10 Mpa

Diámetro nominal		Peso	Diámetro exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
mm	Pulg.	gr/m	mm	pulg.	mm	pulg.
21	1/2	125	21.34	0.840	1.30	0.051
26	3/4	158	26.67	1.050	1.30	0.051
33	1	229	33.40	1.315	1.50	0.059
32	1.1/4	318	42.16	1.660	1.68	0.066
40	1.1/2	417	48.26	1.900	1.85	0.073

TUBERIAS UNI - Z

Una campana—Tramos de 6m

RDE 32.5 PVC TIPO 1, GRADO 1
Presión de Trabajo a 23ºC: 125 PSI
0.86Mpa

RDE 41 PVC TIPO 1, GRADO 1.
Presión de Trabajo a 23ºC: 100 PSI
0.69Mpa

RDE 51 PVC TIPO 1, GRADO 1.
Presión de Trabajo a 23ºC: 80 PSI
0.55Mpa

Diámetro nominal		Peso	Diámetro exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
mm	Pulg.	gr/m	mm	pulg.	mm	pulg.
60	2	531	60.32	2.375	1.85	0.073
60	2	438	60.32	2.375	1.52	0.060
88	3	920	88.90	3.500	2.17	0.085
88	3	742	88.90	3.500	1.74	0.069
114	4	1229	114.30	4.500	2.24	0.088
168	6	2662	168.28	6.625	3.30	0.130
219	8	4516	219.03	8.623	4.30	0.169
273	10	7003	273.05	10.750	5.35	0.211
323	12	9858	323.85	12.750	6.31	0.248

TUBERIAS PR

TUBERÍAS PR 35.
Presión de Trabajo a 20ºC: 35psi-2.5Kg/cm^2

Longitud rollo = 200 m

Diámetro Nominal		Peso Aprox.	Diámetro exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo	
mm	pulg	gr/m	mm	pulg.	mm	pulg
12	3/8	37	12	0.472	1.10	0.043
16	1/2	52	16	0.630	1.20	0.047
20	3/4	81	20	0.787	1.50	0.059
25	1	102	25	0.984	1.50	0.059

- **Sobrepresión por golpe de ariete para tuberías PAVCO**

- **Golpe de ariete tuberías PVC**

$$C = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{Ev}{E}(RDE - 2)}}$$

Ev = módulo de compresión del agua = 2.06 x 10^4 Kg/cm^2
E = módulo de elasticidad de la tubería = 2.81 x 10^4 Kg/cm^2 para PVC Tipo 1 Grado 1
RDE = relación diámetro/espesor

- **Coeficiente de rugosidad de las tuberías PVC**

Según la fórmula Williams y Hazen

$$f = 0.2083\left(\frac{100}{C_{HW}}\right)^{1.85}\frac{Q^{1.85}}{D^{4.866}}$$

C_{HW} = factor de fricción constante = 150

$$f = 0.0985\frac{Q^{1.85}}{D^{4.866}}$$

Tabla 2.23. Deflexiones para UNI-Z PAVCO por tramo de 6 m

Diámetro (")	**Angulo (°)**	**Deflexión X (cm)**
2, 2 1/2, 3 y 4	10	104

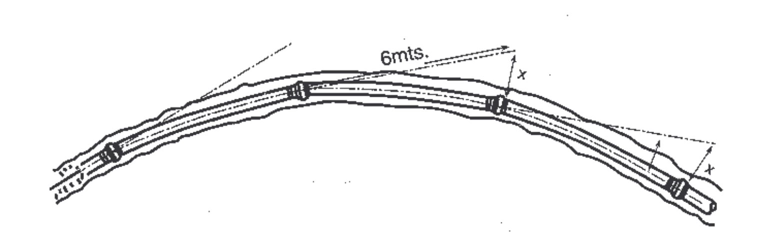


Figura 2.22. Deflexiones en tuberías de PVC. Catálogos PAVCO

Referencias

Ahmed N. Fluid Mechanics. Engineering Press, Inc. United States of America, 1987.

Azevedo N., J. M. y Acosta A., G. Manual de Hidráulica. Sexta edición. Harla, S. A. de C. V. México, 1975.

Díaz M., S. y Sosa C, R. Golpe de Ariete. Manual de diseño de obras civiles. Hidrotecnia. Comisión Federal de Electricidad. México. 1982.

Fox, R. W., and McDonald A. T. Introduction to Fluid Mechanics. Fourth edition, John Wiley and Sons, Inc., United Stated of America. 1992.

Gerhart, P. M., Gross, R. J. and Hochstein J. I. Fundamentals of Fluid Mechanics. Second edition, Addison-Wesley Publishing Company, United States of America, 1992.

Mataix C. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Segunda edición. Ediciones del Castillo S. A., México, 1982.

Ojeda, A. L. Hidráulica: Conductos con flujo a presión. Universidad del Cauca. Popayán. Colombia. 1992.

Pérez Carmona, R. Instalaciones hidráulicas sanitarias y de gas en edificaciones. Segunda edición, Ascotplo y Coinascotplo. Colombia, 1997.

Saldarriaga J. G. Hidráulica de tuberías. Primera edición. Mc Graw-Hill. Colombia. 1998.

Silva G., L. F. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Universidad de Santo Tomás y Universidad Javeriana. 1975.

Sotelo A., G., Hidráulica general. Volumen I, Editorial LIMUSA S.A. Sexta edición, México, 1982

Suárez V., L. M. Ingeniería de Presas. Obras de Toma, Descarga y Desviación, Ediciones Vega. Primera edición. 1982.

White, F. M. Fluid Mechanics. Third edition, McGraw-Hill, United States of America. 1994.

Ziparro, V. J. and Hasen H. Davi's Handbook of Applied Hydraulics. Fourth edition. McGraw-Hill, Inc. United States of America. 1993.

http://www.netafim-usa.com/ag/products/airvalves_tech.asp

VAL-MATIC VALVE AND MANUFACTURING CORP.
905 RIVERSIDE DR. • ELMHURST, IL. 60126
TEL. 630/941-7600 • FAX. 630/941-8042